



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

①2 Offenlegungsschrift
①0 DE 41 33 237 A 1

⑤1 Int. Cl.⁵:
B 60 G 17/00

②1 Aktenzeichen: P 41 33 237.7
②2 Anmeldetag: 5. 10. 91
④3 Offenlegungstag: 8. 4. 93

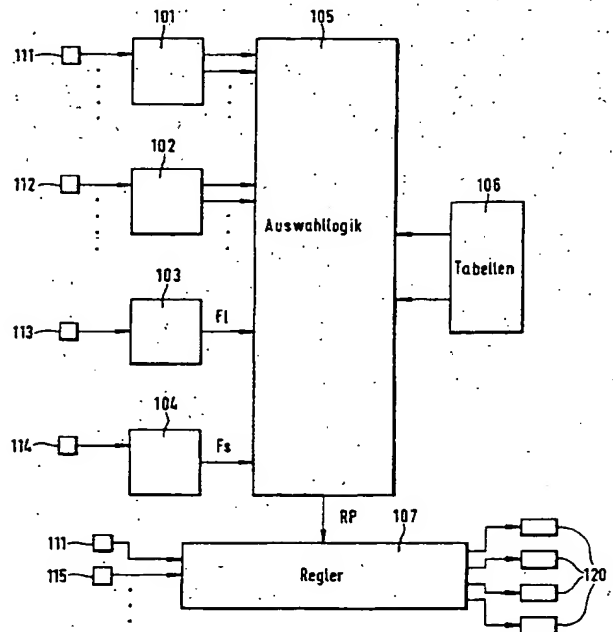
DE 41 33 237 A 1

⑦1 Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 7000 Stuttgart, DE

⑦2 Erfinder:
Decker, Heinz, Dipl.-Ing., 7143 Vaihingen, DE;
Breitenbacher, Juergen, Dipl.-Ing., 7065 Winterbach,
DE; Otterbein, Stefan, Dr.-Ing., 7000 Stuttgart, DE;
Kallenbach, Rainer, Dr.-Ing. Dr., 7050 Waiblingen, DE

⑤4 System zur Fahrwerkregelung

⑤7 Es wird ein System zur Fahrwerkregelung, insbesondere von Personen- und Nutzkraftwagen vorgestellt, bei dem die Regelparameter des Regelkreises zur Regelung der Fahrwerkeigenschaften in Abhängigkeit von dem sensorisch ermittelten Fahrzustand des Fahrzeugs verändert werden. Insbesondere werden zur Fahrzustandserkennung Größen ermittelt, die den vertikaldynamischen Bewegungszustand des Fahrzeugs und/oder den individuellen Fahrstil des Fahrers repräsentieren. Hierbei wird von den sensorisch erfaßten Relativbewegungen zwischen dem Fahrzeugaufbau und wenigstens einer Radeinheit ausgegangen.



DE 41 33 237 A 1

Die Erfindung betrifft ein System zur Fahrwerkregelung, insbesondere von Personen- und Nutzkraftwagen, nach Gattung des Hauptanspruchs.

Wesentlich für die Ausgestaltung des Fahrwerks eines Kraftfahrzeugs ist ein leistungsfähiges Federungs- und/oder Dämpfungssystem. Hierbei ist zum einen der Fahrsicherheit Rechnung zu tragen und zum anderen ist es erstrebenswert, den Insassen bzw. einer stoßempfindlichen Zuladung des Fahrzeugs einen möglichst hohen Reisekomfort zu ermöglichen. Hohe Sicherheitsanforderungen einerseits und hoher Fahrkomfort andererseits sind bei der Ausgestaltung eines Fahrwerks sich widerstrebende Zielsetzungen. Bei den heute noch überwiegend benutzten Fahrwerken ist ein hoher Reisekomfort durch eine möglichst weiche Fahrwerkeinstellung zu erreichen, während hinsichtlich einer hohen Fahrsicherheit eine möglichst harte Fahrwerkeinstellung erwünscht ist.

Um diesen Zielkonflikt bei der Auslegung eines Fahrwerks zu lösen, geht man von den bisher noch überwiegend benutzten passiven über zu verstellbaren, adaptiven oder in einem weiteren Schritt zu regelbaren, aktiven bzw. semiaktiven Fahrwerken. Ein passives Fahrwerk wird je nach prognostiziertem Gebrauch des Fahrzeugs, beim Einbau entweder tendenziell hart (sportlich) oder tendenziell weich (komfortabel) ausgelegt. Eine Einflußnahme auf die Fahrwerkcharakteristik ist während des Fahrbetriebs bei diesen Systemen nicht möglich. Bei adaptiven Fahrwerken kann die Charakteristik des Fahrwerks während der Fahrt durch eine (in der Regel stufenweise erfolgende) Änderung der Dämpfer- und/oder Federwerte je nach Fahrsituation geändert werden. Das Verhalten entspricht dabei in jeder Einstellung momentan demjenigen eines passiven Fahrwerks. Im Gegensatz zu solchen passiven bzw. adaptiven Fahrwerken ermöglichen erst aktive bzw. semiaktive Fahrwerke es, gleichzeitig eine höhere Fahrsicherheit und einen höheren Fahrkomfort darzustellen. Dies geschieht dadurch, daß zu jedem Zeitpunkt näherungsweise optimale Kräfte beispielsweise von aktiven bzw. semiaktiven Dämpfern erzeugt werden, die sich aus einem Regelgesetz infolge gemessener bzw. berechneter Bewegungsgrößen des Fahrzeugs ergeben. Bei derartigen aktiven bzw. semiaktiven Fahrwerken kann die Charakteristik des Federungs- und/oder Dämpfungs-Systems durch Anpassung der Parameter (Verstärkungen, Zeitkonstanten, Schwellwerten) oder der Struktur des Regelgesetzes ebenfalls während des Fahrbetriebs je nach Fahrzustand beeinflußt werden, wobei das resultierende Verhalten in jeder Einstellung nicht notwendig demjenigen eines passiven Fahrzeugs entspricht. Es ist mit aktiven bzw. semiaktiven Fahrwerken beispielsweise möglich, unterschiedliche Bewegungsfrequenzen gleichzeitig unterschiedlich zu bedämpfen, indem beispielsweise eine Skyhookdämpfung, das heißt eine Dämpfung der Bewegungen des Fahrzeugaufbaus, und/oder eine frequenzabhängige Dämpfung der Radbewegungen im Regelgesetz implementiert werden.

Zur Auslegung von solchen aktiven bzw. semiaktiven Fahrwerken ist es beispielsweise bekannt, zwischen den Radeinheiten bzw. den Achsen und dem Fahrzeugaufbau Federungssysteme parallel mit Dämpfungssystemen zu schalten. Ein aktiver Dämpfer weist beispielsweise einen Zylinder auf, der mittels eines Kolbens in zwei Arbeitskammern unterteilt ist. Durch eine aktive Druckmitteleinspeisung oder ein Ablassen des Druckmittels können die Dämpfereigenschaften gesteuert werden, das heißt daß eine beliebige Kraft zwischen den Radeinheiten und dem Fahrzeugaufbau aufgebracht werden kann. Alternativ ist es bei den sogenannten semiaktiven Systemen möglich, die Dämpfungseigenschaften beispielsweise durch einen im Querschnitt steuerbaren Bypass zu variieren. Beispielsweise kann der Kolben ein im Durchlaßquerschnitt steuerbares Ventil aufweisen. Bei den sogenannten semiaktiven Dämpfungssystemen erfolgt keine aktive Beaufschlagung des Systems mit Druckmittel.

In dem Aufsatz von W. Klinkner ("Adaptives Dämpfungs-System ADS zur fahrbahn- und fahrzustandsabhängigen Steuerung von Dämpfern einer Fahrzeugfederung", VDI Bericht Nr. 778, Düsseldorf, 1989) werden Dämpfereinstellungen eines adaptiven Fahrwerks in Abhängigkeit von statischen Kenngrößen, welche den Charakter der Fahrbahn beschreiben, angepaßt. Hierzu werden die Signale eines Aufbau- und eines Radbeschleunigungssensors verwendet. In dem Aufsatz wird eine frequenzmäßig getrennte Aufbereitung der erfaßten Fahrbahnebenenheiten in verschiedenen Frequenzbereichen vorgeschlagen, wofür mehrere parallelgeschaltete Filter eingesetzt werden. Nachteilig an einem solchen System ist der hohe Aufwand zum einen hinsichtlich der Sensorik und zum anderen hinsichtlich der Filter. Weiterhin ist keine optimale Anpassung dieses Regelsystems an unterschiedliche Fahrzustände möglich.

Der Aufsatz von D. Konik ("Berechnung unbekannter Eingangssignale aus Meßsignalen am Beispiel der Unebenheitsermittlung", at-Automatisierungstechnik 39 (1991) 6 Seiten 205—210) beschäftigt sich mit der Berechnung unbekannter Eingangssignale aus den Meßsignalen eines Systems. Dabei wird das Straßenprofil mit Hilfe von Signalen, die die Beschleunigung des Fahrzeugaufbaus repräsentieren, und Signalen, die den Relativweg zwischen dem Fahrzeugaufbau und den Rädern repräsentieren, anhand des Entwurfs eines inversen Systems berechnet.

In der WO 90/14 240 (PCT/DE 90/00 343) wird ein Verfahren zur Fahrwerkregelung von Fahrzeugen vorgestellt, bei dem die Fahrwerkcharakteristik in Abhängigkeit von der Fahrzeuglängs- und Fahrzeugquerdynamik verändert werden. Dies erfolgt durch eine entsprechende Variation der Reglerparameter. Hierdurch wird die jeweilige Übertragungsfunktion des Reglers der Fahrzeuglängs- und Fahrzeugquerdynamik angepaßt so daß bei unkritischen Fahrzuständen der größtmögliche Komfort und bei kritischen Fahrzuständen eine der Sicherheit dienende, straffe Fahrwerkabstimmung vorliegt. Durch das hier beschriebene System ist aber eine umfassende Optimierung der Reglerparameter an weitere Bewegungszustände des Fahrzeugs nicht zu erreichen.

In der Veröffentlichung "Computer controlled shocks smooth ride of GM luxury cars", Automotiv News, 3.9.1990, wird bei einem Fahrwerk, dessen Dämpfungseigenschaften adaptiv verstellbar ausgelegt sind, die

härteste Dämpfung dann eingestellt wenn starke Beschleunigungen, hartes Bremsen oder starke Lenkeinschläge sensiert werden. Diese Kenngrößen, die den Fahrstil des Fahrers beschreiben, führen also zu einer harten, sportlichen Fahrwerkeinstellung. Hierdurch ist zwar im beschränkten Maße eine Anpassung der Fahrwerkeinstellung an den Fahrstil des Fahrers möglich, eine differenzierte Bewertung der Einflüsse des Fahrstils im Zusammenhang mit anderen Einflußgrößen auf den Fahrzustand des Fahrzeugs ist bei diesem System nicht verwirklicht.

Schließlich wird in dem Artikel "Automotive Engineer" Vol.12, No. 6, Dezember 1987, auf der Seite 40 in der rechten Spalte in den Zeilen 25 bis 36 ein Fahrwerkregelungssystem vorgestellt, bei dem die Umstellung der Dämpferparameter in Abhängigkeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit und von Beschleunigungs- und Lenkmanövern stattfindet. Auch bei diesem System ist durch die bloße Umstellung von Dämpfungsparametern kein optimales Ergebnis hinsichtlich der Fahrwerkregelung zu erzielen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein aktives oder semiaktives Fahrwerkregelungssystem zu entwerfen, das die verschiedensten Fahrzustände berücksichtigt.

Diese Aufgabe wird durch die im Anspruch 1 gekennzeichneten Merkmale gelöst.

Vorteile der Erfindung

Bei dem erfindungsgemäßen System zur Fahrwerkregelung werden die Regelparameter des Regelkreises eines aktiven oder semiaktiven Fahrwerkregelsystems zur Regelung der Fahrwerkeigenschaften in Abhängigkeit von dem sensorisch ermittelten Fahrzustand des Fahrzeugs verändert. Hierbei wird insbesondere dem vertikaldynamischen Bewegungszustand des Fahrzeugs und/oder dem individuellen Fahrstil des Fahrers Rechnung getragen. Hierzu werden Größen ermittelt, die den vertikaldynamischen Bewegungszustand des Fahrzeugs und/oder den individuellen Fahrstil des Fahrers repräsentieren. Durch die Variation der Regelparameter wird das jeweilige Übertragungsverhalten des Regelkreises zur Regelung der Fahrwerkeigenschaften dem ermittelten Fahrzustand angepaßt.

Insbesondere werden die Größen, die die Vertikaldynamik des Fahrzeugs repräsentieren, aus den sensorisch erfaßten Relativbewegungen zwischen dem Fahrzeugaufbau und wenigstens einer Radeinheit ermittelt. Die Größen, die den Fahrstil des Fahrers repräsentieren, können Effektivwerte und/oder Spitzenwerte der geschätzten und/oder gemessenen Fahrzeuglängsbeschleunigung, der Fahrzeugquerbeschleunigung, der Fahrzeugquergeschwindigkeit, der Lenkwinkelgeschwindigkeit, der Drosselklappenstellung, der Drosselklappenänderungsgeschwindigkeit, der Motordrehzahl und/oder der Motordrehzahländerungsgeschwindigkeit sein.

Für Fahrzeuge mit automatischen Getrieben können die Größe, die den individuellen Fahrstil des Fahrers repräsentieren, statistische Kenngrößen sein, welche die Getriebestellung, insbesondere die Häufigkeit und die Geschwindigkeit von Gangwechseln, beschreiben.

Darüberhinaus kann der Fahrstil des Fahrers durch die Betätigung der Drosselklappen- und/oder Bremslichtschalter beschrieben werden.

Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Systems werden als Größen, die den vertikaldynamischen Bewegungszustand des Fahrzeugs repräsentieren, statistische Kenngrößen ermittelt, die näherungsweise die Eigenschaften der Fahrbahn statistisch beschreiben. Weiterhin können Effektivwerte und/oder Spitzenwerte des Einfederweges, der Einfedergergeschwindigkeit und/oder der Einfederbeschleunigung zur Ermittlung des vertikaldynamischen Bewegungszustands des Fahrzeugs herangezogen werden.

Besonders vorteilhaft ist es, den vertikaldynamischen Bewegungszustand des Fahrzeugs aus den Effektivwerten und/oder Spitzenwerten der geschätzten Radlastvariationen wenigstens eines Rades zu bestimmen.

Zu einer umfassenden Fahrwerkregelung ist als weitere Ausgestaltung vorgesehen, ergänzend zur Erfassung des vertikaldynamischen Bewegungszustands des Fahrzeugs und/oder des individuellen Fahrstils des Fahrers die Längs- und/oder Querdynamik des Fahrzeugs zur Variation der Regelparameter heranzuziehen.

Bei dem erfindungsgemäßen System werden die Signale der zur Fahrwerkregelung üblichen Sensoren und/oder die Signale von anderen elektrischen oder elektronischen Fahrzeugteilsystemen derart verwendet, daß durch eine spezielle Verarbeitung dieser Sensorsignale eine umfassende Analyse des Fahrzustands des Fahrzeugs getätigt werden kann. Abhängig vom Fahrzustand werden erfindungsgemäß die Reglerparameter des Systems an den jeweiligen Fahrzustand angepaßt. Hierdurch ergeben sich verbesserte Möglichkeiten der Anpassung des Reglers an die unterschiedlichsten Fahrverhalten des Fahrzeugs.

Durch die Rekonstruktion von Fahrbahnprofilen aus den Signalen von Einfederweg- und/oder Einfedergergeschwindigkeitssensoren auf der Grundlage eines einfachen Fahrzeugmodells ist ein gegenüber anderen bekannten Lösungen stark vereinfachtes Sensorschema möglich, wobei gleichzeitig der benötigte Rechenaufwand vertretbar gering bleibt.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

Zeichnung

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in den Zeichnungen dargestellt und wird in der nachstehenden Beschreibung näher erläutert.

Beschreibung des Ausführungsbeispiels

In diesem Ausführungsbeispiel soll anhand des Blockschaltbilds der Fig. 1 das erfindungsgemäße System zur Regelung eines Fahrwerks aufgezeigt werden.

In der Fig. 1 sind mit den Positionen 101 bis 104 Meß- und Auswerteeinrichtungen bezeichnet. Die Position

101 stellt dabei eine erste Einrichtung zur Messung und Auswertung des vertikaldynamischen Bewegungszustands des Fahrzeugs dar. Mit der Position 102 ist eine zweite Einrichtung zur Messung und Auswertung des Fahrstils des Fahrers gekennzeichnet, während die Position 103 für eine dritte Einrichtung zur Messung und Auswertung der Längsdynamik des Fahrzeugs steht. Die Position 104 weist eine vierte Einrichtung zur Messung und Auswertung der Querdynamik des Fahrzeugs aus. Die Position 105 markiert eine Auswahllogik, die Position 106 Tabellenspeicher und die Position 107 eine Reglereinrichtung. Die Positionen 111 bis 115 zeigen Erfassungseinrichtungen. Mit der Position 111 sind erste Mittel zur Erfassung des Einfederweges, der Einfedergeschwindigkeit und/oder der Einfederbeschleunigung bezeichnet. Die Position 112 stellt zweite Mittel zur Erfassung der Fahrzeuglängsbeschleunigung, der Fahrzeugquerbeschleunigung, der Fahrzeuggiergeschwindigkeit, der Lenkwinkelgeschwindigkeit, der Drosselklappenstellung, der Drosselklappenänderungsgeschwindigkeit, der Motordrehzahl und/oder der Motordrehzahländerungsgeschwindigkeit dar. Mit der Position 113 sind dritte Mittel zur Erfassung der Fahrzeuglängsgeschwindigkeit gekennzeichnet. Die Position 114 steht für vierte Mittel zur Erfassung der Giergeschwindigkeit, der Fahrzeugquerbeschleunigung, des Lenkwinkels und/oder der Lenkwinkelgeschwindigkeit. Die Position 115 weist fünfte Mittel zur Erfassung der Aufbaugeschwindigkeit und/oder der Aufbaugeschwindigkeit des Fahrzeugs aus. Die Positionen 120 zeigen Aktuatoren.

Im folgenden soll nun im einzelnen auf die Erfassung und die Berücksichtigung verschiedener Anteile des Fahrzeugzustands des Fahrzeugs durch die Meß- und Auswerteinrichtungen 101 bis 104 und die dazugehörigen Erfassungseinrichtungen 111 bis 115 eingegangen werden. Hierzu soll zunächst die Berücksichtigung des vertikaldynamischen Bewegungszustands des Fahrzeugs durch die erste Einrichtung 101 dargelegt werden.

Ausgehend von dem Signal mindestens eines zwischen einem Rad und dem Aufbau eines Fahrzeugs angeordneten Einfederweg- oder Einfedergeschwindigkeitssensors können durch geeignete analoge oder digitale Signalaufbereitung (Differentiation, Integration Filterung) zumindest näherungsweise folgende Signale ermittelt werden:

Die Effektivwerte und/oder Spitzenwerte des Einfederwegs S , der Einfedergeschwindigkeit V und der Einfederbeschleunigung A .

Zur Bildung des Effektivwerts der obengenannten Größen können die Betragswerte der genannten Signale jeweils analog oder digital gebildet werden (Gleichrichtung). Durch anschließende Tiefpaßfilterung erhält man einen Schätzwert für den Effektivwert. Werden die berücksichtigten Signale zusätzlich bzw. anstelle der Betragsbildung quadriert, dann tiefpaßgefiltert und anschließend die Wurzel ermittelt, so erhält man geschätzte RMS-(Root Mean Squares) Effektivwerte. Die Auswahllogik 105 vergleicht nun die Beträge der einzelnen Effektivwerte S_{eff} , V_{eff} , A_{eff} und/oder Spitzenwerte S_{max} , V_{max} , A_{max} untereinander bzw. mit vorgegebenen Schwellen und entscheidet anhand dieser über die vor zunehmende Abstimmung des in einem elektronischen Steuergerät ablaufenden Fahrwerkregelalgorithmus. In der obenbeschriebenen Weise können auch mehrere an verschiedenen Rädern angebrachte Sensoren zur Ermittlung der Relativbewegungen zwischen Rad und Fahrzeugaufbau der genannten Art und Weise ausgewertet werden.

Zur Spitzenwertbildung wird über einen festgelegten Zeitraum die maximal aufgetretene Signalamplitude der betrachteten Größen ausgewertet. Der betrachtete Zeitraum ist dabei im Sinne eines gleitenden Zeitfensters stets dem realen Zeitverlauf nachzuführen.

Bei der Auswahllogik 105 werden also die in der ersten Einrichtung 101 erfaßten Effektivwerte oder Spitzenwerte des Einfederwegs, der Einfedergeschwindigkeit mit vorgegebenen Schwellen verglichen und abhängig von diesen Vergleichsergebnissen Regelungsparameter RP dem Regler 107 zugeführt. Die Regelungsparameter können hierbei abhängig von den Vergleichsergebnissen aus den Tabellen 106 entnommen werden.

Eine weitere Möglichkeit der Berücksichtigung des vertikaldynamischen Bewegungszustands des Fahrzeugs besteht darin, Effektivwerte und/oder Spitzenwerte der geschätzten Radlastvariationen eines oder mehrerer Räder zur Variation der Reglerparameter heranzuziehen. Als Radlastvariation bzw. Radlastschwankung P bezeichnet man die Abweichung der Radlast (Normalkraft zwischen Reifen und Fahrbahn) von ihrem statischen Wert. Während diese und etwa auch die Reifeneinfederung, die unmittelbar mit der Radlastschwankung zusammenhängt, einer Messung nur sehr schwer zugänglich ist, kann beispielsweise der Einfederweg mit relativ einfach und somit preiswert zu realisierende Meßwertaufnehmern detektiert werden. Zur Erlangung der Radlastschwankung P soll im folgenden anhand des Zweikörpermodells, das in der Fig. 2 zu sehen ist, auf den physikalischen Hintergrund eingegangen werden.

Die Positionen 201, 202, 203, 204, 205 und 206 in der Fig. 2 zeigen ein Zweikörpermodell für eine Radeinheit. Das Rad ist in Kontakt mit der Fahrbahn 204. Hierbei ist die Reifensteifigkeit als Feder 205 mit der Federkonstanten C_r modellhaft beschrieben. Die Kombination der Feder 206 und des bezüglich seiner Dämpfungseigenschaft regelbaren Dämpfers 203 steht also hier für das zu steuernde bzw. regelnde Federungs- und/oder Dämpfungssystem einer Radeinheit. In diesem Ausführungsbeispiel soll der Dämpfer 203 als regelbar angenommen werden, während die Eigenschaften der Feder 206 durch einen konstanten Wert C beschrieben wird. Mit X_a bzw. X_r ist die Verschiebung des Fahrzeugaufbaus 201 bzw. die Verschiebung des Rades bezeichnet, und zwar die Verschiebung aus der Gleichgewichtslage bei Stillstand des Fahrzeugs (im unbeladenen Zustand). Mit X_e werden die Bodenunebenheiten beschrieben. Die Masse des Fahrzeugaufbaus ist mit M_a und die des Rades mit M_r bezeichnet. Der Meßwertaufnehmer 207 detektiert die Einfederbewegungen der Radeinheit. Anhand dieses Zweikörpermodells kann man ableiten, daß die gesuchte Größe P der Einfederbewegung in folgendem Zusammenhang steht:

$$P = -[(1 + M_r/M_a) \cdot C + (1 + M_r/M_a) \cdot d \cdot s + M_r \cdot s^2] \cdot X_{ar}, \quad (1)$$

wobei s die Laplace-Variable ist. Mit X_{ar} ist der sogenannte "entmittelte" Federweg bezeichnet, der aus der Meßgröße $X_a - X_r$ durch Subtraktion ihres laufenden Mittelwerts

$$1/T_m \cdot \int_{t-T_m}^t [X_a(r) - X_r(r)] dr \quad (2)$$

zu

$$X_{ar}(t) = \{X_a(t) - X_r(t)\} - \{1/T_m \cdot \int_{t-T_m}^t [X_a(r) - X_r(r)] dr\} \quad (3)$$

entsteht. Hierbei ist T_m ein Abstimmungsparameter und t der aktuelle Zeitpunkt. Durch diese "Entmittlung" des Federwegs $X_a - X_r$ wird sowohl der Einfluß einer Beladung des Fahrzeugs, das heißt eine Änderung des statischen Federwegs, als auch der Einfluß unsymmetrischer (bezüglich Druck- und Zugbereich) Feder- und/oder Dämpferkennlinien (Änderung des mittleren dynamischen Federwegs) auf die Berechnung der Radlastschwankungen eliminiert.

Als vereinfachte Ausgestaltung kann ersatzweise für den entmittelten Federweg nach der Gleichung (2) bzw. (3) auch die Differenz $X_{rel} = X_a - X_r$ verwendet werden.

Das Signal P gibt also wenigstens näherungsweise die dynamische Radlastvariation bzw. Radlastschwankung in der Vertikalrichtung eines auf einer Fahrbahn bewegten Reifens wieder. Die Ermittlung der dynamischen Radlastschwankung P kann, wie oben beschrieben, aus dem sensierten Einfederweg in der ersten Einrichtung 101 geschehen. Ein derartiges, möglicherweise auch auf anderem Weg gewonnenes Signal der dynamischen Radlastschwankung kann nun ebenfalls im Sinne der vorliegenden Erfindung als vertikaldynamische Kenngröße herangezogen werden; wenn ausgehend hiervon ein in oben beschriebener Weise erlangter Effektivwert P_{eff} und/oder ein Spitzenwert P_{max} ermittelt wird. Diese Effektivwerte bzw. Spitzenwerte der dynamischen Radlastschwankung werden in der Auswahl-Logik 105 mit vorgegebenen Schwellen verglichen und anhand von Tabellen 106 zur Bestimmung der Reglerparameter RP des Reglers 107 herangezogen.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Systems hinsichtlich der Beeinflussung der Reglerparameter in Abhängigkeit von dem vertikaldynamischen Bewegungszustand des Fahrzeugs geht von statistischen Kenngrößen aus, welche näherungsweise die Eigenschaften der Fahrbahn statistisch beschreiben. Dies soll im folgenden näher dargelegt werden.

Der vertikaldynamische Bewegungszustand einer Radeinheit eines realen Fahrzeugs wird durch das in der Fig. 2 dargestellte Zweikörpermodell gut approximiert. Mit den in der Fig. 2 angegebenen Koordinaten und Fahrzeugparametern erhält man als theoretischen Zusammenhang zwischen dem Verlauf der Fahrbahnoberfläche $X_e(t)$ und den mit einem geeigneten Sensor 207 zwischen der Radeinheit und dem Fahrzeugaufbau gemessenen Abstand die formelmäßige Beziehung im $X_e =$

$$\frac{(C^*C_r + C_r^*d^*s + [C^*(M_{ar}) + C_r^*M_a]^*s^2 + M_{ar}^*d^*s^3 + M_a^*M_r^*s^4)}{M_a^*C_r^*s^2} \cdot X_{ar} \quad (4)$$

mit der Laplace-Variablen s , wobei $M_{ar} = M_a + M_r$ die Summe der anteiligen Fahrzeugaufbaumasse und der Masse des Rades ist und X_{ar} der entmittelte Federweg oder der relative Einfederweg $X_a - X_r$ ist. Zur praktischen Realisierung des erfindungsgemäßen Fahrwerkregelungssystems ist die Beziehung (4) nicht günstig verwendbar, da die erforderliche zweimalige Integration des Einfederwegsignals nicht stabil in einem Steuergerät realisierbar ist. Eine geeignete Approximation der Gleichung (4) ist jedoch

$$X_e = \frac{(C^*C_r + C_r^*d^*s + (C^*M_{ar} + C_r^*M_a)^*s^2 + M_{ar}^*d^*s^3 + M_a^*M_r^*s^4)}{M_a^*C_r^*(s+e)^2(s^2 + 2^*\delta^*w^*s + w^2)} \cdot X_{ar} \cdot w^2 \quad (5)$$

wobei die Größen e , w und δ Filterparameter sind, die beispielsweise an die auszuwertenden Einfederbewegungssignale angepaßt werden und die eine stabile Integration gewährleisten.

Die Beziehung (5) beschreibt ein zeitkontinuierliches, stabiles Filter vierter Ordnung. Zur Implementierung in einem digitalen Steuergerät kann dieses Filter mit bekannten Verfahren diskretisiert werden. In diesem Falle weist die erste Einrichtung 101 das in der Formel (5) beschriebene Übertragungsverhalten auf, wobei die Erfassung des Einfederwegs oder des entmittelten Einfederwegs durch die ersten Mittel 111 getätigt wird.

Über die hier beschriebene Darstellung hinaus ist es möglich, durch Anwendung von Ordnungsreduktionsverfahren die hier beschriebene Filteranordnung vierter Ordnung ($n=4$) zu reduzieren, indem beispielsweise ein Ansatz

$$X_e \approx X_{ar} \cdot \left[\sum_{i=0}^n b_i \cdot s^i \right] / \left[\sum_{j=0}^n a_j \cdot s^j \right] \quad (6)$$

im Sinne kleinster Fehlerquadrate so angepaßt wird, daß die Beziehung (4) bzw. die Beziehung (5) in einem betrachteten Frequenzband optimal approximiert wird. Hierdurch läßt sich der im Steuergerät erforderliche Rechenaufwand weiter reduzieren.

Sofern im betrachteten Fahrzeug statt der Einfederwegssignale X_{ar} Einfederweggeschwindigkeitssignale X_{ar}'

zur Verfügung stehen, läßt sich die oben beschriebene Vorgehensweise gleichermaßen verwenden. In diesem Fall tritt an die Stelle von Beziehung (4) die Beziehung $X_e =$

$$\frac{(C \cdot Cr + Cr \cdot d \cdot s + [C \cdot (Mar) + Cr \cdot Ma] \cdot s^2 + Mar \cdot d \cdot s^3 + Ma \cdot Mr \cdot s^4)}{Ma \cdot Cr \cdot s^3} \cdot X_{ar'} \quad (7)$$

und anstelle von (6) die Beziehung

$$X_e = \frac{(C \cdot Cr + Cr \cdot d \cdot s + (C \cdot Mar + Cr \cdot Ma) \cdot s^2 + Mar \cdot d \cdot s^3 + Ma \cdot Mr \cdot s^4)}{Ma \cdot Cr \cdot (s + e)^2 \cdot (s + w)} \cdot X_{ar'} \cdot w \quad (8)$$

Die geschilderte Vorgehensweise kann auf eines oder mehrere Räder des betrachteten Fahrzeugs angewandt werden. In einer bevorzugten Ausführung werden nur die Einfederwegsignale der beiden Vorderräder berücksichtigt, da die den Hinterrädern zugeordneten Fahrbahnprofile näherungsweise denjenigen der Vorderräder mit einer Zeitdifferenz T entsprechen welche sich aus dem Achsabstand L und der Fahrgeschwindigkeit V gemäß $T = L/V$ ergibt. Bei dieser Ausführung wird also der ersten Einrichtung 101 zusätzlich ein Signal zugeführt, das die Fahrgeschwindigkeit des Fahrzeugs repräsentiert.

Die Anpassung der Reglerparameter RP des Reglers 107 an Kenngrößen, die den Fahrstil des Fahrers beschreiben, wird im folgenden als weitere Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Systems beschrieben. Hierzu ist in der Fig. 1 eine zweite Einrichtung 102 zur Messung und Auswertung des Fahrstil des Fahrers eingezeichnet, die entsprechend aufbereitete Sensorsignale von den zweiten Mitteln 112 zugeführt bekommt. Die zur Anpassung der Reglerparameter herangezogenen Kenngrößen können im einzelnen wie folgt beschrieben ermittelt werden.

Ausgehend von einem Längsbeschleunigungssignal AL , welches zum Beispiel von einem Längsbeschleunigungssensor oder durch geeignete Aufbereitung eines Fahrgeschwindigkeitssignals VL (zum Beispiel Tachometer, ABS) resultiert, werden statistische Kennwerte wie (RMS-) Effektivwerte und/oder Spitzenwerte der Längsbeschleunigung ermittelt. Dies kann in der zweiten Einrichtung 102 geschehen, wobei die zweiten Mittel 112 in diesem Falle die Längsbeschleunigung des Fahrzeugs erfassen. In der Auswahllogik 105 werden zum Beispiel die Beträge des Effektivwertes AL_{eff} und/oder des Spitzenwertes AL_{max} untereinander bzw. mit vorgegebenen Schwellen verglichen. Anhand der Ergebnisse dieser Vergleiche sowie gegebenenfalls durch weitere Kenngrößen, die weiter unten beschrieben werden, werden beispielsweise mit Hilfe der Tabellen 106 die Regelparameter RP des Reglers 107 dem Fahrstil des Fahrers angepaßt.

Zur Effektivwertbildung können die Betragswerte der genannten Signale jeweils analog oder digital gebildet werden (Gleichrichtung). Durch eine anschließende Tiefpaßfilterung erhält man einen Schätzwert für den Effektivwert. Werden die berücksichtigten Signale zusätzlich bzw. anstelle der Betragsbildung quadriert, dann tiefpaßgefiltert und anschließend die Wurzel ermittelt, so erhält man geschätzte RMS-(Root Mean Squares) Effektivwerte. Zur Spitzenwertbildung wird, wie schon oben beschrieben, über einen festgelegten Zeitraum die maximal aufgetretene Signalamplitude der betrachteten Größe ermittelt. Der betrachtete Zeitraum ist dabei im Sinne eines gleitenden Zeitfenster stets dem realen Zeitverlauf nachzuführen.

Eine weitere Möglichkeit, den Fahrstil des Fahrers zu berücksichtigen soll im folgenden dargestellt werden. Ausgehend von einem Signal $AQUER$, das der Querbeschleunigung des Fahrzeugs proportional ist und welches entweder durch direkte Messung mit Hilfe eines geeignet angebrachten Querbeschleunigungssensors oder durch Errechnung aus anderen Größen, wie zum Beispiel der Fahrzeuggeschwindigkeit VL und dem Lenkwinkel $DELTA$ ermittelt werden kann, werden statistische Kennwerte wie (RMS-) Effektivwerte und/oder Spitzenwerte der Querbeschleunigung ermittelt. In der Auswahllogik 105 werden die Beträge des Effektivwertes $AQUER_{eff}$ und/oder des Spitzenwertes $AQUER_{max}$ untereinander bzw. mit vorgegebenen Schwellen verglichen und abhängig von den Vergleichsergebnissen sowie gegebenenfalls abhängig von weiteren Kenngrößen die Regelparameter RP dem Fahrstil des Fahrers angepaßt.

Eine weitere Möglichkeit die Regelparameter RP dem Fahrstil des Fahrers anzupassen, geht von einem Signal $PSIP$ aus, welches proportional zur Giergeschwindigkeit des Fahrzeugs ist. Dieses in den zweiten Mitteln 112 erfaßte Signal kann entweder durch direkte Messung zum Beispiel eines geeigneten Giergeschwindigkeitssensors oder durch Errechnung aus anderen Größen wie zum Beispiel der Fahrzeuggeschwindigkeit VL und dem Lenkwinkel $DELTA$ ermittelt werden. Ausgehend von dem Signal $PSIP$ werden statistische Kennwerte wie (RMS-) Effektivwerte und/oder Spitzenwerte der Giergeschwindigkeit bestimmt. Dies geschieht in der zweiten Einrichtung 102. Die Auswahllogik 105 vergleicht die Beträge des Effektivwertes $PSIP_{eff}$ und/oder des Spitzenwertes $PSIP_{max}$ untereinander bzw. mit vorgegebenen Schwellen und entscheidet anhand dieser sowie gegebenenfalls weiterer Kenngrößen über die vorzunehmende Abstimmung des in einem elektronischen Steuergerät ablaufenden Fahrwerk Regelalgorithmus. Hierzu werden die Regelparameter RP des Reglers 107 entsprechend variiert.

Ausgehend von einem Signal $DELTA$, welches proportional zur Lenkwinkelgeschwindigkeit ist und welches entweder durch einen geeignet angebrachten Lenkwinkelgeber und/oder durch einen Lenkwinkelgeschwindigkeitsgeber oder auch mit Hilfe eines geeignet angebrachten linearen Weg- oder Geschwindigkeitsgebers direkt gemessen werden kann oder durch Errechnung aus anderen Größen ermittelt werden kann, werden statistische Kennwerte wie (RMS-) Effektivwerte und/oder Spitzenwerte der Lenkwinkelgeschwindigkeit ermittelt. Dies geschieht analog zu den oben beschriebenen Ausgestaltungen in den zweiten Einrichtungen 102 bzw. unter Zuhilfenahme der Daten, die in den zweiten Mitteln 112 erfaßt werden. Auch bei dieser Ausgestaltung werden

die Beträge des Effektivwerts DELTAPeff und/oder des Spitzenwertes DELTAPmax untereinander bzw. mit vorgegebenen Schwellen verglichen. Anhand dieser Vergleichsergebnisse sowie gegebenenfalls weiterer Kenngrößen werden die Regelparameter RP bestimmt.

Ausgehend von einem Drosselklappensignal ALPHA und/oder eines Drosselklappen- Änderungsgeschwindigkeitssignals ALPHAP, welches entweder durch einen geeignet angebrachten Winkelgeber, einen Winkelgeschwindigkeitsgeber oder auch mit Hilfe eines geeignet angebrachten linearen Weg- oder Geschwindigkeitsgebers ermittelt werden kann, werden statistische Kennwerte wie (RMS-)Effektivwerte und/oder Spitzenwerte der beschriebenen Drosselklappensignale bestimmt. Hierzu können auch Signale aus anderen elektronischen Fahrzeugteilsystemen verwendet werden, sofern sie durch eine geeignete Informationsverbindung der zweiten Einrichtung 102 zugeführt werden. Ersatzweise kann ein entsprechendes Signal von der Fahrpedalstellung abgeleitet werden, falls das betreffende Fahrzeug nicht über eine Drosselklappe verfügt. In der Auswahllogik 105 werden die Beträge der Effektivwerte ALPHAeff bzw. ALPHAPeff und/oder der Spitzenwerte ALPHAmax bzw. ALPHAPmax untereinander bzw. mit vorgegebenen Schwellen verglichen. Anhand dieser Vergleichsergebnisse und gegebenenfalls weiterer Kenngrößen werden die Regelparameter RP entsprechend bestimmt.

Ausgehend von einem Motordrehzahlensignal N oder einem Motordrehzahländerungssignal NP, welches entweder durch geeignet angebrachte Winkelgeber oder Drehzahlgeber direkt ermittelt oder aus anderen elektronischen Fahrzeugteilsystemen durch eine geeignete Informationsverbindung übermittelt werden kann, werden statistische Kennwerte wie (RMS-)Effektivwerte und/oder Spitzenwerte der beschriebenen Motordrehzahlensignale ermittelt. In der Auswahllogik 105 werden dann die entsprechenden Effektivwerte Neff bzw. NPeff und/oder der Spitzenwerte Nmax bzw. NPmax untereinander bzw. mit vorgegebenen Schwellen verglichen. Anhand dieser Vergleichsergebnisse sowie gegebenenfalls weitere Kenngrößen werden die Regelparameter RP des Reglers 107 angepaßt.

Eine weitere Möglichkeit, entsprechende Kenngrößen zur Berücksichtigung des Fahrstils des Fahrers zu erhalten, besteht darin, die Stellung des Fahrzeuggetriebes zu erfassen. Diese Getriebestellung kann vorzugsweise auch aus anderen elektronischen Fahrzeugteilsystemen, wie einer elektronischen Getriebesteuerung, durch eine geeignete Informationsverbindung dem Fahrwerkregelungssystem zugeführt werden. Erfasst man also die Stellung des Getriebes bzw. die Häufigkeit und Geschwindigkeit der Änderungen der Getriebestellungen, so gelangt man zu statistischen Kenngrößen der in der Auswahllogik 105 gegebenenfalls durch die Tabellen 106 entsprechende Regelparameter zugeordnet werden können.

Statistische Kenngrößen, welche die Betätigung von Drosselklappen- bzw. Fahrpedalschaltern bzw. Bremslichtschaltern beschreiben, sind vorzugsweise bei Fahrzeugen mit Automatikgetrieben zu dem erfindungsgemäßen System heranzuziehen. Weiterhin können die Signale von Schaltern, die zur Bestimmung bzw. Erkennung von Vollast benutzt werden (Drosselklappenschalter) sowie die an jedem Fahrzeug vorhandenen Bremslichtschalter zur statistischen Auswertung gemäß des erfindungsgemäßen Systems verwendet werden. Aus diesen Signalen lassen sich statistische Kenngrößen mit bekannten Verfahren ermitteln, welche den Fahrstil des jeweiligen Fahrers kennzeichnen und ebenfalls zur Parameteranpassung des beschriebenen Fahrwerkregelsystems herangezogen werden können.

Die oben erwähnten Verfahren zur Berücksichtigung des Fahrstils des Fahrers können jeweils einzeln oder in beliebiger Kombination zur Anpassung der Regelparameter verwendet werden.

In Erweiterung der oben dargestellten Verfahren zur statistischen Kenngrößenermittlung sind die folgenden Verfahren zu erwähnen.

1. Zählverfahren zur Häufigkeitsermittlung innerhalb vorgegebener Signalklassen.
2. Frequenzanalyse (zum Beispiel mit FFT).
3. Korrelationsverfahren sowie andere Mustererkennungsverfahren zur Extraktion von Merkmals-"Clustern", welche auf bestimmte, fahrertypische Fahrmanöver hinweisen.
4. Parameteridentifikationsverfahren, welche zum Beispiel ein stark vereinfachtes, dynamisches Modell (zum Beispiel in Form einer Differenzgleichung oder einer Übertragungsfunktion) des jeweiligen Fahrers aus den zeitlichen Verläufen der zugrundegelegten Signale ermitteln.

Allen genannten Auswertemethoden ist gemeinsam, daß sie ein zeitlich variantes Verhalten explizit berücksichtigen müssen, um Wechsel des Fahrers oder Änderungen des Fahrverhaltens berücksichtigen zu können. Hierfür werden vorzugsweise zeitliche Gewichtungungen oder zeitlich mitbewegte Datenerfassungsfenster verwendet.

Ergänzend zu der oben beschriebenen Berücksichtigung des vertikaldynamischen Bewegungszustands des Fahrzeugs und/oder des Fahrstils des Fahrers kann die Längs- und/oder Querdynamik des Fahrzeugs zur Fahrzustandserkennung herangezogen werden. Dies ist in der Fig. 1 durch die dritte und vierte Einrichtung 103 und 104 bzw. den zugehörigen dritten und vierten Mitteln 113 und 114 angedeutet.

Hierbei wird in der dritten Einrichtung 103 die Längsdynamik des Kraftfahrzeugs erfaßt. Hierzu sind die dritten Mitteln 113 vorgesehen, die beispielsweise Sensoren enthalten können, die die Fahrzeuglängsgeschwindigkeit und/oder die Fahrzeuglängsbeschleunigung ermittelt. Durch Differentiation läßt sich hieraus ein Näherungswert für die Reifenlängskräfte F_1 erhalten. Wie in der WO 90/14 240 beschrieben, gilt die Beziehung

$$F_1 = M_{ges} \cdot V_1' \quad (9)$$

wobei M_{ges} die Masse des Fahrzeugs und V_1' die Fahrzeuglängsbeschleunigung bezeichnet. Ein Signal, das die Reifenlängskraft F_1 repräsentiert, wird von der dritten Einrichtung 103 der Auswahllogik 105 zugeführt. In der Auswahllogik 105 können die den Reifenlängskräften entsprechenden Regelungsparameter beispielsweise an-

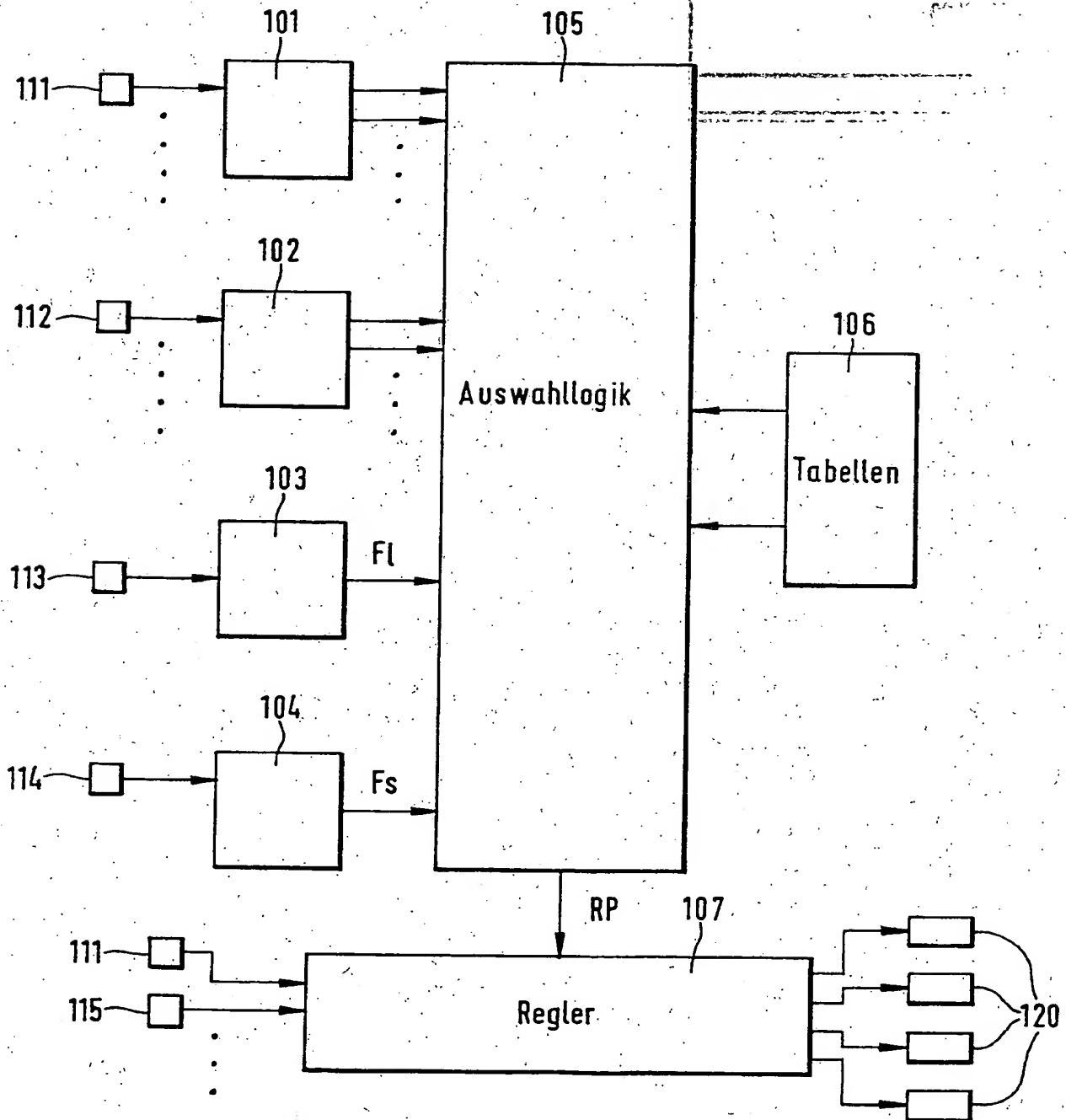
hand der Tabelle 106 ausgewählt werden. Der vierten Einrichtung 104 werden Signale von den vierten Mitteln 114 zugeführt, die beispielsweise den Lenkwinkel, die Giergeschwindigkeit und die Fahrzeugquerbeschleunigung repräsentieren. Gegebenenfalls sind nicht alle Eingangsgrößen erforderlich. In der vierten Einrichtung 104 wird aus den beschriebenen Eingangsgrößen ein Näherungswert für die Reifenseitenkraft F_s gebildet. Diese wird der Auswahllogik 105 zugeführt, in der die Regelparameter beispielsweise anhand der Tabelle 106 entsprechend ausgewählt werden.

Patentansprüche

1. System zur aktiven oder semiaktiven Fahrwerkregelung, insbesondere von Personen- und Nutzkraftwagen, bei dem die Regelparameter des Regelkreises zur Regelung der Fahrwerkeigenschaften in Abhängigkeit von dem sensorisch ermittelten Fahrzustand des Fahrzeugs verändert werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Fahrzustandserkennung wenigstens eine Größe ermittelt wird, die den vertikaldynamischen Bewegungszustand des Fahrzeugs und/oder den individuellen Fahrstil des Fahrers repräsentiert, erfaßt wird.
2. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Größe, die den vertikaldynamischen Bewegungszustand des Fahrzeugs repräsentiert, aus den sensorisch erfaßten Relativbewegungen zwischen dem Fahrzeugaufbau und wenigstens einer Radeinheit ermittelt wird.
3. System nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als vertikaldynamische Größe
 - statistische Kenngrößen ermittelt werden, die näherungsweise die Eigenschaften der Fahrbahn statistisch beschreiben, und/oder
 - Effektivwerte und/oder Spitzenwerte des Einfederwegs (X_{ar}), der Einfedergeschwindigkeit (\dot{X}_{ar}) und/oder der Einfederbeschleunigung (\ddot{X}_{ar}) ermittelt werden und/oder
 - Effektivwerte und/oder Spitzenwerte der geschätzten Radlastvariationen wenigstens eines Rades ermittelt wird.
4. System nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als Größe, die den individuellen Fahrstil des Fahrers repräsentiert,
 - Effektivwerte und/oder Spitzenwerte der geschätzten und/oder gemessenen Fahrzeuglängsbeschleunigung, der Fahrzeugquerbeschleunigung, Fahrzeuggiergeschwindigkeit, Lenkwinkelgeschwindigkeit, Drosselklappenstellung, Drosselklappenänderungsgeschwindigkeit, Motordrehzahl und/oder Motordrehzahländerungsgeschwindigkeit ermittelt werden und/oder
 - statistische Kenngrößen, welche die Getriebebestellung, insbesondere die Häufigkeit und Geschwindigkeit von Gangwechseln, beschreiben, welche die Betätigung von Drosselklappen- und/oder Bremslichtschaltern beschreiben.
5. System nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ergänzend zu dem vertikaldynamischen Bewegungszustand des Fahrzeugs und/oder des Fahrstils des Fahrers die Längs- und/oder Querdynamik des Fahrzeugs zur Fahrzustandserkennung herangezogen wird.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

Fig. 1



Nummer:
Int. Cl. 5:
Offenlegungstag:

DE 41 33 237 A1
B 60 G 17/00
8. April 1993

Walter Ottesen
Patent Attorney
P.O. Box 4026
Gaithersburg, MD 20885-4026

Telephone: 301-869-8950

Telefax: 301-869-8929

Attorney Docket No. 203-036

Application Serial No.

Fig. 2

